

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Jaringan Tegangan Menengah

Pendistribusian tenaga listrik dalam suatu kawasan tidak lepas dari penggunaan sistem tegangan menengah sebagai jaringan utama untuk menghindarkan rugi-rugi penyaluran (*losses*) dengan kualitas persyaratan tegangan yang harus dipenuhi oleh PT PLN Persero selaku pemegang kuasa usaha utama sebagaimana diatur dalam UU ketenagalistrikan No. 30 tahun 2009.

#### 2.1.1 Deskripsi umum

Standar Tegangan Menengah di Indonesia adalah 20 kV. Lingkup jaringan tegangan menengah pada sistem distribusi di Indonesia dimulai dari terminal keluar (*out-going*) pemutus tenaga dari transformator penurun tegangan Gardu Induk atau transformator penaik tegangan pada pembangkit untuk sistem distribusi skala kecil, hingga pemisah/proteksi sisi masuk (*in-coming*) transformator distribusi 20 kV - 231/400 V.<sup>1</sup>

Konstruksi jaringan tegangan menengah di kelompokkan menjadi 3 macam konstruksi sebagai berikut (PT. PLN Persero, 2010:3) :

- a. Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM)
- b. Saluran Kabel Udara Tegangan Menengah (SKUTM)
- c. Saluran Kabel Tanah Tegangan Menengah (SKTM)

#### 2.1.2 Aspek perencanaan

Jaringan distribusi tegangan menengah berawal dari gardu induk/pusat listrik pada sistem terpisah. Pada beberapa tempat berawal dari pembangkit listrik. Konstruksi sistem tersebut dapat berupa Saluran Udara atau Saluran Bawah Tanah disesuaikan kebijakan manajemen, masalah kontinuitas pelayanan, jenis pelanggan pada beban atas permintaan khusus dan masalah biaya investasi.

<sup>1</sup> Nurmiati Pasra,dkk, *Gangguan yang Terjadi Pada Sistem Jointing Pada Saluran Kabel Tegangan Menengah 20 KV*. Jurnal Sutet Vol. 8 No.1 Januari - Juni 2018, hlm. 1.

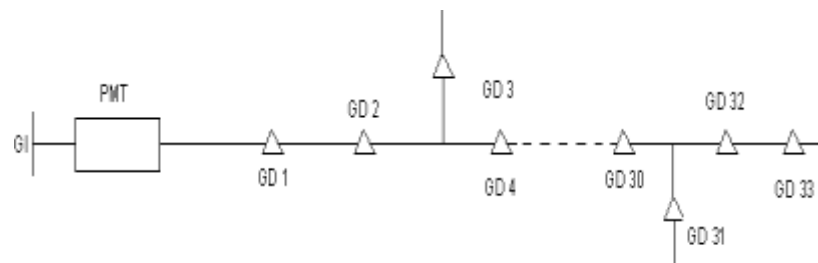
Jaringan distribusi tegangan menengah saluran udara dipakai umumnya untuk daerah jangkauan luas, daerah padat beban rendah atau daerah-daerah penyangga kota dan desa. Biaya investasi saluran udara relatif murah, mudah dalam pembangunannya, mudah dalam aspek pengoperasiannya akan tetapi padat pemeliharaan. Tingkat kontinuitas rendah dengan konfigurasi sistem umumnya radial (*Fishbone*).

Jaringan distribusi tegangan menengah saluran bawah tanah biasanya dipakai untuk daerah padat beban tinggi (beban puncak lebih dari 2,5 MVA/km<sup>2</sup> dengan luas minimal 10 km<sup>2</sup>) dengan jangkauan terbatas. Biaya investasi mahal, sulit dalam pembangunan, mudah dalam pengoperasian dan pemeliharaan, tingkat kontinuitas tinggi. Pada jaringan bawah tanah selalu direncanakan dalam bentuk “loop” guna menghindari pemadaman (*black-out*) akibat gangguan. (PT.PLN Persero, 2010:2)

Berdasarkan konfigurasi jaringan, maka sistem jaringan distribusi dapat dikelompokkan menjadi 3 (tiga) macam, yaitu sistem jaringan distribusi radial, loop dan spindel.

### 1. Sistem jaringan distribusi radial

Bentuk jaringan ini merupakan bentuk yang paling sederhana, banyak digunakan dan murah. Dinamakan radial karena saluran ini ditarik secara radial dari suatu titik yang merupakan sumber dari jaringan itu dan dicabang – cabangkan ke titik – titik beban yang dilayani, seperti terlihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Jaringan Distribusi Radial<sup>2</sup>

<sup>2</sup> Syahputra : “Konfigurasi Jaringan” <http://repository.umy.ac.id/bitstream/handle/123456789/11168/> diakses tanggal 21 Maret 2021 hlm. 20

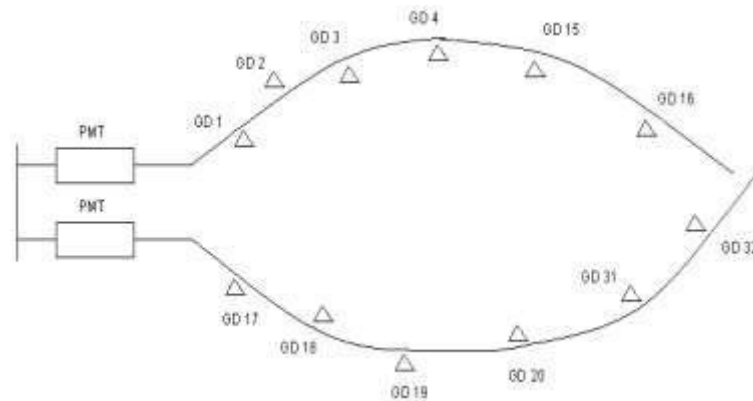
Catu daya berasal dari satu titik sumber dan karena adanya pencabangan – pencabangan tersebut, maka arus beban yang mengalir Disepanjang saluran menjadi tidak sama sehingga luas penampang konduktor pada jaringan bentuk radial ini ukurannya tidak sama sehingga luas penampang konduktor pada jaringan bentuk radial ini ukurannya tidak sama karena arus yang paling besar mengalir pada jaringan yang paling dekat dengan gardu induk. Sehingga saluran yang paling dekat dengan gardu induk ini ukuran penampangnya relatif besar dan saluran cabang – cabangnya makin ke ujung dengan arus beban yang lebih kecil mempunyai ukuran konduktornya lebih kecil pula. Spesifikasi dari jaringan bentuk radial ini adalah :

- a. Bentuknya sederhana.
- b. Biaya investasinya murah.
- c. Kualitas pelayanan dayanya relatif jelek, karena rugi tegangan dan rugi daya yang terjadi pada saluran relatif besar.
- d. Kontinuitas pelayanan daya kurang terjamin sebab antara titik sumber dan titik beban hanya ada satu alternatif saluran sehingga bila saluran tersebut mengalami pemadaman total, yaitu daerah saluran sesudah atau dibelakang titik gangguan selama gangguan belum teratasi.

Untuk melokalisir gangguan pada bentuk radial ini biasanya dilengkapi dengan peralatan pengaman, fungsinya untuk membatasi daerah yang mengalami pemadaman total, yaitu daerah saluran sesudah atau dibelakang titik gangguan selama gangguan belum teratasi.

## 2. Sistem jaringan distribusi *loop*

Jaringan ini merupakan bentuk tertutup, disebut juga bentuk jaringan ring. Susunan rangkaian saluran membentuk ring, seperti terlihat pada gambar 2.2 yang memungkinkan titik beban terlayani dari dua arah saluran, sehingga kontinuitas pelayanan lebih terjamin serta kualitas dayanya menjadi lebih baik, karena drop tegangan dan rugi daya saluran menjadi lebih kecil.



Gambar 2.2 Jaringan Distribusi *Loop*<sup>3</sup>

Bentuk sistem jaringan distribusi loop ini ada 2 macam yaitu :

- a. Bentuk *open loop*, bila dilengkapi dengan *normally open switch* yang terletak pada salah satu bagian gardu distribusi, dalam keadaan normal rangkaian selalu terbuka.
- b. Bentuk *close loop*, bila dilengkapi dengan *normally close switch* yang terletak pada salah satu bagian diantara gardu distribusi, dalam keadaan normal rangkaian selalu tertutup.

Struktur jaringan ini merupakan gabungan dari dua buah struktur jaringan radial, dimana pada ujung dari dua buah jaringan dipasang sebuah pemutus (PMT), pemisah (PMS). Pada saat terjadi gangguan, setelah gangguan dapat diisolir, maka pemutus atau pemisah ditutup sehingga aliran daya listrik ke bagian yang tidak terkena gangguan tidak terhenti. Pada umumnya penghantar dari struktur ini mempunyai struktur yang sama, ukuran konduktor tersebut dipilih sehingga dapat menyalurkan seluruh daya listrik beban struktur loop, yang merupakan jumlah daya listrik beban dari kedua struktur radial.

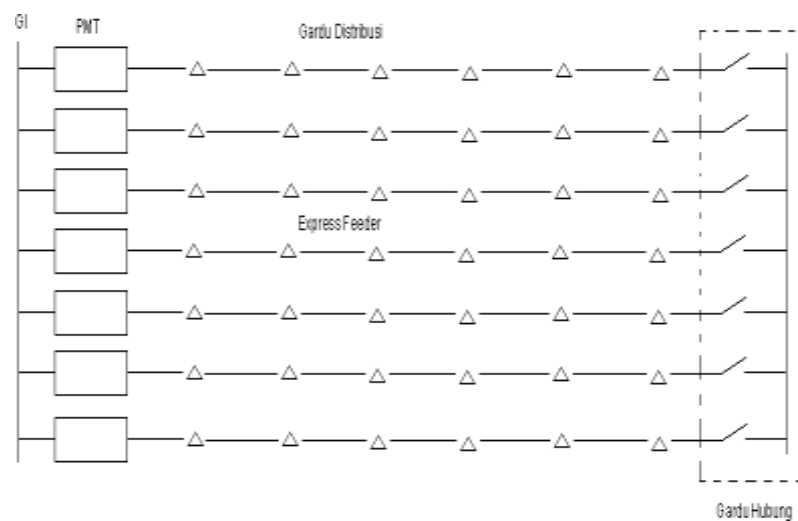
Jaringan distribusi loop mempunyai kualitas dan kontinuitas pelayanan daya yang lebih baik, tetapi biaya investasi lebih mahal dan

<sup>3</sup> *Ibid*, hlm.21

cocok digunakan pada daerah yang padat dan memerlukan keandalan tinggi.

### 3. Sistem Jaringan Distribusi Spindel

Jaringan distribusi spindel (seperti Gambar 2.3) merupakan saluran kabel tanah tegangan menengah (SKTM) yang penerapannya sangat cocok di kota – kota besar.



Gambar 2.3 Jaringan distribusi spindel<sup>4</sup>

Adapun operasi sistem jaringan sebagai berikut :

- a. Dalam keadaan normal semua saluran digardu hubung (GH) terbuka sehingga semua SKTM beroperasi radial.
- b. Dalam keadaan normal saluran ekspres tidak dibebani dan dihubungkan dengan rel di gardu hubung dan digunakan sebagai pemasok cadangan dari gardu hubung.
- c. Bila salah satu seksi dari SKTM mengalami gangguan, maka saklar beban di kedua ujung seksi yang terganggu dibuka. Kemudian seksi – seksi sisi gardu induk (GI) mendapat suplai dari GI, dan seksi – seksi gardu hubung mendapat suplai dari gardu hubung melalui saluran ekspres.

<sup>4</sup> *Ibid*, hlm 23

Sistem jaringan distribusi spindel sangat cocok untuk memenuhi kebutuhan – kebutuhan antara lain :

- a. Peningkatan keandalan atau kontinuitas pelayanan sistem.
- b. Menurunkan atau menekan rugi – rugi akibat gangguan.
- c. Sangat baik untuk mensuplai daerah beban yang memiliki kerapatan beban yang cukup tinggi.
- d. Perluasan jaringan mudah dilakukan.

## 2.2 Saluran Udara Tegangan Menengah<sup>5</sup>

### 2.2.1 Konsep perencanaan

Jaringan distribusi tenaga listrik saluran udara ini, terutama untuk distribusi tenaga listrik yang beroperasi secara radial, dengan jangkauan luas, biaya murah, dengan keandalan kontinuitas penyaluran minimal tingkat-2. Untuk mengurangi luasnya dampak pemadaman akibat gangguan dipasang fasilitas- fasilitas *Pole Top Switch / Air Break Switch*, PBO, SSO, FCO pada posisi tertentu. Pemakaian Saluran Udara sebagai sistem distribusi daerah perkotaan dapat dilakukan dengan memperpendek panjang saluran dan didesain menjadi struktur “*Radial Open Loop*”. Pemakaian penghantar berisolasi guna mengurangi akibat gangguan tidak menetap dan pemasangan kawat petir dapat meningkatkan tingkat kontinuitas penyaluran. Pada sistem jaringan tertutup (loop) dengan instalasi gardu phi-section, seluruh pemutus menggunakan SSO.

### 2.2.2 Konstruksi SUTM

Konstruksi SUTM merupakan konstruksi termurah untuk penyaluran daya listrik pada daya yang sama dan paling banyak digunakan konsumen jaringan tegangan menengah di Indonesia. Ciri utama jaringan ini adalah

<sup>5</sup> Ratno, dkk, Kriteria Desain Enjineriing Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik (Jakarta:PT. PLN (Persero), 2010), hlm. 62-72.

penggunaan penghantar telanjang yang ditopang dengan isolator pada tiang besi/beton.

Konstruksi jaringan ini dimulai dari sumber tenaga listrik / Gardu Induk dengan kabel tanah Tegangan Menengah ke arah tiang pertama saluran udara. Tiang pertama disebut tiang awal, tiang tengah disebut tiang penumpu (*line pole*) atau tiang penegang (*suspension pole*), jika jalur SUTM membelok disebut tiang sudut dan berakhir pada tiang ujung (*end pole*). Saluran yang sangat panjang dan lurus pada titik-titik tertentu dipasang tiang penegang. Fungsi tiang penegang adalah untuk mengurangi besarnya tekanan mekanis pada tiang awal / ujung serta untuk memudahkan operasional dan pemeliharaan jaringan.

Topang tarik (*guy wire*) dapat dipakai pada tiang sudut dan tiang ujung tetapi tidak dipasang pada tiang awal. Pada tempat-tempat tertentu jika sulit memasang *guy wire* pada tiang akhir atau tiang sudut, dapat dipakai tiang dengan kekuatan tarik besar.

Isolator digunakan sebagai penumpu dan pemegang penghantar pada tiang, hanya dipakai 2 jenis isolator yaitu isolator penegang dan isolator penumpu. Isolator penegang dipasang pada tiang awal / akhir / sudut. Isolator penumpu dipasang pada tiang penumpu dan sudut.

Penghantar Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) dapat berupa:

1. A3C (*All Aluminium Alloy Conductor*)
2. A3C – S (*Half insulated A3C, HIC*) ; atau *full insulated* (FIC).
3. *Full insulated A3C twisted* (A3C-TC)

Luas penampang penghantar 35 mm<sup>2</sup>, 50 mm<sup>2</sup>, 70 mm<sup>2</sup>, 150 mm<sup>2</sup>, 240 mm<sup>2</sup>.

### 2.2.3 Konstruksi dan jarak antar tiang

Saluran udara Tegangan Menengah memakai tiang dengan beban kerja (*working load*) 200 daN, 350 daN, 500 daN dan 800 daN, dengan panjang tiang 11 meter, 12 meter, 13 meter dan 14 meter.

Penggunaan tiang dengan beban kerja tertentu disesuaikan dengan banyaknya sirkit perjalur saluran udara, besar penampang penghantar dan posisi/fungsi tiang (tiang awal, tiang tengah, tiang sudut).

Tiang ditanam  $\frac{1}{6}$  kali panjang tiang, dengan sudut kemiringan tidak melebihi 50 derajat. Pondasi tiang dipakai untuk tiang awal, tiang akhir, Gardu Portal/Cantol, tiang sudut. Ukuran pondasi disesuaikan dengan besar/ kuat tarik tiang (daN) dan daya dukung jenis tanah.

Konstruksi pada tiang (*Pole Top Construction*) dilakukan minimal 15 cm dibawah ujung tiang bagian atas. Jarak pendirian tiang (*pole staking*) atau antar-gawang diatur sebagai berikut:

- dalam kota : maksimum 40 meter
- luar kota : maksimum 50 meter
- listrik desa : maksimum 60 meter

Konstruksi tiang :

#### A. Konstruksi Tiang Awal

Pada jaringan distribusi tegangan menengah tiang awal adalah tiang yang memikul kekuatan tarik penuh. Tiang awal merupakan tiang dimana penghantar kabel dari gardu induk atau dari sumber tempat listrik memasok distribusi tenaga listrik melalui saluran udara. Tiang awal dilengkapi dengan *lightning arrester* dengan rating arus pengenalan minimal 10 kA.

Penghantar jenis AAAC dan AAAC-S diikat pada tiang dengan isolator jenis isolator peregang (tarik *strain*, suspensi) baik jenis payung atau *long rod*. Penghantar jenis *twisted cable* diterminasi langsung pada



kabel daya dari Gardu Induk/Pembangkit. Penggantung kabel ini diterminasi pada klem gantung (strain clamp). End termination harus dilengkapi dengan lightning arrester. Kabel naik pada tiang dilindungi dengan pipa galvanis dengan diameter 4 inci. *Lightning arrester* dibumikan dengan penghantar pbumian BC 50 mm<sup>2</sup>.

Elektroda pbumian ditanam 20 cm dibawah permukaan tanah dengan nilai tahanan pbumian sebesar-besarnya 1 Ohm. Tiang awal minimal memakai jenis tiang dengan working load 500 daN.

#### B. Konstruksi Tiang Penumpu (*line pole*)

Tiang penumpu adalah tiang ditengah saluran dengan sudut kemiringan sebesar 00 – 300. Adapun Isolator penumpu yang digunakan memakai jenis pin-post, line-post, dan pin, dengan 3 buah isolator untuk sistem fasa -3 dan 1 buah untuk sistem fasa -1. Untuk sudut lintasan 0°-15° memakai 1 buah isolator, dan sudut lintasan 15°-30° memakai 2 buah isolator pada tiap fasa dengan jarak gawang rata-rata 45 meter.

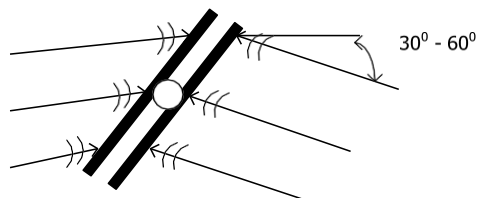
Isolator pin-post mempunyai bentuk jarak rambat (*crepage distance*) tidak merata dengan sebagian permukaan terlindung dari siraman hujan dan kontaminasi polutan, mempunyai jarak tembus (*puncture distance*).

Penggunaan isolator ini disesuaikan dengan kondisi tingkat intensitas polusi dimana isolator itu dipasang. [mengacu ke SPLN-10-3B-1993 dan SPLN-10-4A- 1994]

Isalator payung (*pin insulator*) mempunyai bentuk jarak rambat (*creepage distance*) merata pada permukaan dan sebagian besar bergelombang di bawah. Permukaan isolator yang terhindar dari siraman air hujan dan kontaminasi polutan. Namun isolator ini mempunyai jarak tembus (*puncture distance*) pendek yang kerap menyulitkan jika terjadi kegagalan isolasi pada dudukan penghantar. Penggunaan isolator ini disesuaikan dengan kondisi tingkat intensitas polusi dimana isolator itu dipasang. [mengacu ke SPLN-10-3B- 1993 dan SPLN-10-4C-1997]

Terdapat 3 jenis tiang sudut :

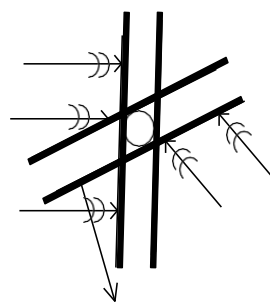
- a. Tiang sudut kecil,  $15^{\circ}$ - $30^{\circ}$  jenis *line-post*, *pin-post*, *pin insulator* dengan 2 buah palang (*double arming cross-arm*). Tiap fasa memakai 2 buah isolator.
- b. Tiang sudut sedang,  $30^{\circ}$  –  $60^{\circ}$ , konstruksi isolator 2 set jenis *suspension* atau *long rod* dan 1 buah isolator tumpu, untuk penghantar ditengah palang memakai 2 buah palang (*cross-arm*).



Gambar 2.4 Konstruksi Pemasangan Tiang Sudut Sedang

- c. Tiang sudut besar,  $60^{\circ}$  -  $90^{\circ}$

Konstruksi pada tiang sudut besar ini memakai 4 buah *double arming cross-arm*. Sebagaimana pada konstruksi tiang awal, dengan 2 set isolator jenis *suspension* tiap fasa dan minimal 1 buah isolator *line post* penghantar pada saluran tengah.



Gambar 2.5 Konstruksi Pemasangan Tiang Sudut Besar

### C. Konstruksi Tiang Akhir

Konstruksi tiang akhir sama dengan konstruksi tiang awal, dilengkapi dengan *lightning arrester* dengan nilai arus pengenalan 10 kA, jika tidak ada

saluran kabel TM naik/turun, tiang akhir cukup dilengkapi dengan *guy-wire*.

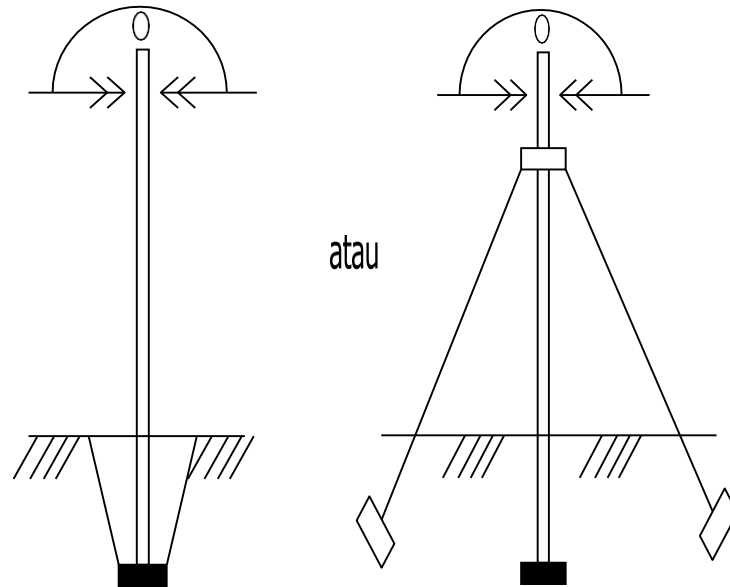
#### D. Konstruksi Tiang Pencabangan (*Tee-Off*)

Konstruksi pencabangan jaringan umumnya terjadi pada tiang penumpu. Pencabangan memakai jenis konstruksi tiang awal dengan dua buah isolator *suspension* pada tiap fasa dan 1 buah isolator tumpu (*line post*) untuk penghantar yang ditengah. Jika ruang tersedia cukup, tiang sudut tersebut dilengkapi dengan *guy-wire*. Penyambungan pada penghantar memakai *compression parralel groove* bukan *bolt parallel groove*. Penambahan satu atau lebih isolator tumpu dapat dipertimbangkan jika diperlukan.

Pencabangan pada saluran utama tidak memakai *parallel groove* jenis *live line parallel groove*, kecuali pada jaringan pencabangan. Untuk penghantar SUTM jenis AAAC-S( *half insulated AAAC*) *parallel groove* harus dari jenis yang terisolasi guna menghindari masuknya air ke dalam kabel AAAC-S.

#### E. Konstruksi Tiang Peregang (*tension pole*)

Tiang peregang adalah konstruksi tiang yang dipasang pada tiap-tiap 10 gawang saluran lurus. Konstruksi tiang ini dimaksudkan untuk membantu kekuatan mekanis saluran yang panjang dan lurus dari kemungkinan gangguan mekanis akibat ditabrak kendaraan atau pohon roboh yang menimpah saluran SUTM. Konstruksi tiang adalah jenis konstruksi tiang awal dengan dua isolator *suspension* pada tiap fasa dan 1 buah isolator tumpu pada penghantar tengah. Tiang yang dipergunakan adalah tiang dengan *working load* minimal 500 daN atau tiang tengah (*line pole*) yang dilengkapi *guy-wire* pada kiri kanan tiang arus saluran SUTM.



Gambar 2.6 Konstruksi Pemasangan Tiang Peregangan

## 2.3 Saluran Kabel Tanah Tegangan Menengah<sup>6</sup>

### 2.3.1 Konsep perencanaan

Mengingat biaya investasi yang mahal dan keunggulannya dibandingkan dengan saluran udara Tegangan Menengah, Saluran Kabel tanah Tegangan Menengah (SKTM) dipakai pada hal-hal khusus:

1. Daerah padat beban tinggi
2. Segi estetika
3. Jenis Pelanggan Kritis
4. Permintaan khusus

Pada tingkat keadaan kontinuitas sedikitnya tingkat-3, Kabel tanah digunakan untuk pemakaian :

1. Kabel keluar (Opstik kabel dari pembangkit / GI ke tiang SUTM)
2. Kabel *Tee-Off* dari SUTM ke gardu beton
3. Penyeberangan sungai, jalur kereta api

<sup>6</sup> *Ibid*, hlm.72-74

Konfigurasi jaringan kabel tanah didesain dalam bentuk loop (*Radial Open Loop*), sebaiknya dengan sesama kabel tanah. Apabila *Loop* dengan hanya 1(satu) penyulang, maka pembebanan kabel hanya 50 %. Jika sistem memakai penyulang cadangan (*Express Feeder*) dapat dibebani 100% kapasitas kabel. Bentuk konfigurasi yang umum adalah :

1. Struktur spindel, minimal 2 penyulang berbeban dan 1 penyulang cadangan / tanpa beban.
2. Struktur Kluster
3. *Spotload* untuk pelanggan dengan beban lebih besar daripada kapasitas kabel
4. “Loop” antara 2 penyulang baik dari 1 sumber pembangkit atau dari sumber yang berbeda (*Fork system*).

Adanya masalah faktor perletakan (*laying factor*) akan mengurangi Kemampuan Hantar Arus kabel, sehingga penampang kabel sepanjang 300 meter (1 haspel) dari Gardu Induk dipilih setingkat lebih besar dari penampang kabel penyulang operasi.

### 2.3.2 Konstruksi SKTM

Sesuai standar pabrik, kabel tanah pada kondisi tanah (*specific thermal resistivity of soil*) 1000C cm/w dengan kedalaman 70 cm, untuk penggelaran 1 kabel mempunyai Kemampuan Hantar Arus (KHA) 100 %. Kemampuan hantar arus kabel harus dikoreksi jika persyaratan tersebut berubah. Penggunaan kabel dengan penampang yang lebih besar pada jalur keluar dari Gardu Induk atau sumber tenaga listrik harus dipertimbangkan. Kabel harus dilindungi terhadap kemungkinan gangguan mekanis dengan pasir, pipa pelindung, buis beton atau pelat beton. Jalur jaringan kabel, titik belok dan sambungan kabel harus diberi tanda guna memudahkan inspeksi, pemeliharaan, dll.

Jenis kabel yang dipasang bermacam-macam, namun saat ini dari jenis yang berisolasi XLPE berpelindung mekanis, berbalut pita tembaga dan bahan semi konduktif dengan inti penghantar jenis aluminium.

Terdapat dua jenis kabel bawah tanah yaitu berinti tunggal (*single-core*) dan berinti banyak (*multi-core*) dengan luas penampang 150 mm<sup>2</sup>, 240 mm<sup>2</sup> dan 300 mm<sup>2</sup>



Gambar 2.7 Kabel Tanah Berisolasi XLPE

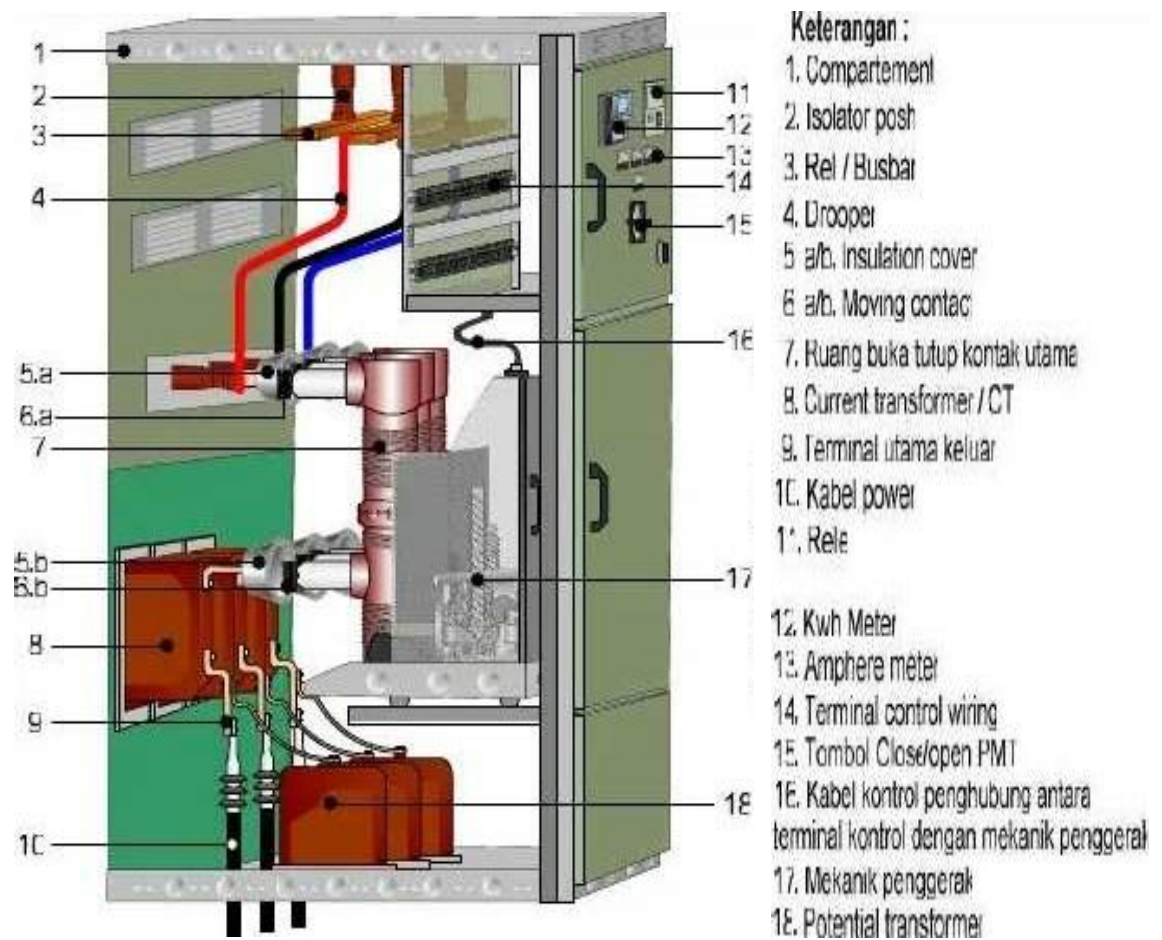
## 2.4 Kubikel Tegangan Menengah<sup>7</sup>

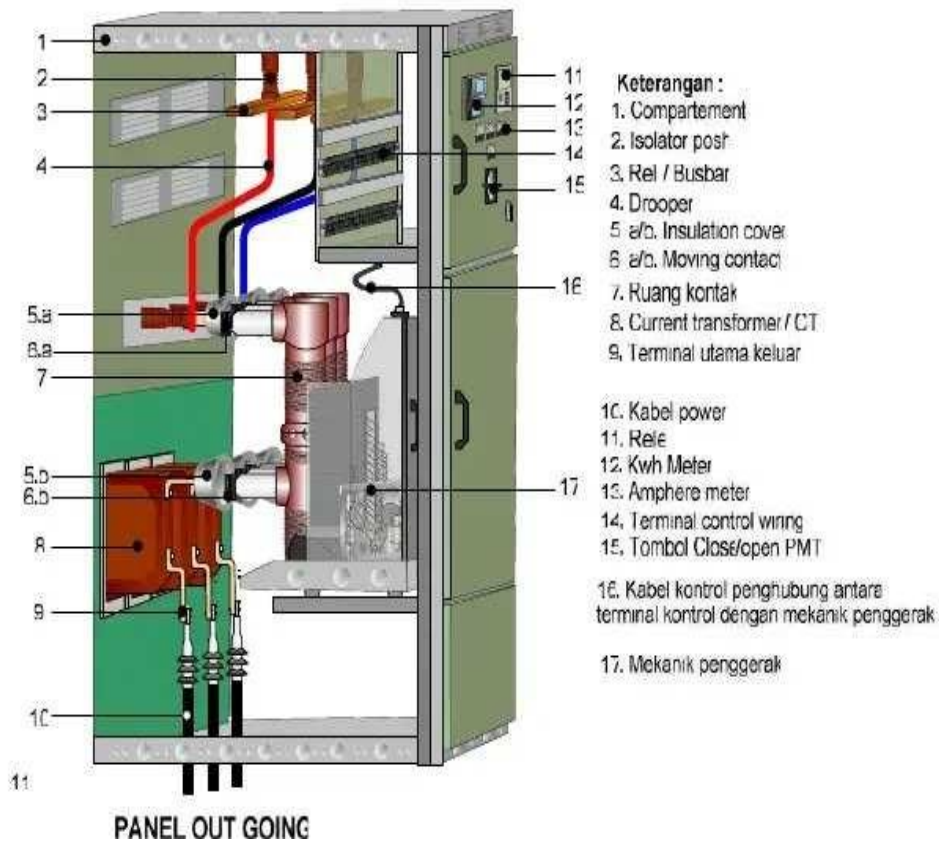
### 2.4.1 Pengertian kubikel tegangan menengah

Kubikel Tegangan Menengah adalah seperangkat peralatan listrik yang dipasang pada Gardu Induk dan Gardu Distribusi/Gardu Hubung yang berfungsi sebagai pembagi, pemutus, penghubung, pengontrol dan pengaman sistem penyaluran tenaga listrik tegangan menengah.

### 2.4.2 Bagian-bagian kubikel

<sup>7</sup> Agung, dkk. 2014. Pedoman Pemeliharaan Kubikel Tegangan Menengah. Jakarta : PT. PLN (Persero).

Gambar 2.8 Bagian-bagian kubikel *Incoming*



Gambar 2.9 Bagian-bagian kubikel *Outgoing*

### 2.4.3 Fungsi kubikel

Berdasarkan fungsi/penempatannya, Kubikel Tegangan Menengah di Gardu Induk antara lain:

a. Kubikel *Incoming*

Berfungsi sebagai penghubung dari sisi sekunder trafo daya ke rel tegangan menengah.

a. Kubikel *Outgoing*

Berfungsi sebagai penghubung / penyalur dari rel ke beban.

b. Kubikel Pemakaian Sendiri (Trafo PS)

Berfungsi sebagai penghubung dari rel ke beban pemakaian sendiri GI.



c. Kubikel Kopel (Bus Kopleng)

Berfungsi sebagai penghubung antara rel 1 dengan rel 2.

d. Kubikel PT

Berfungsi sebagai sarana pengukuran dan pengaman.

e. Kubikel *Bus Riser / Bus Tie (Interface)*

Berfungsi sebagai penghubung antar kubikel.

f. Kubikel PT Rel yang dilengkapi dengan *Lightning Arrester (LA)*

Kubikel jenis ini terpasang pada Gardu Induk di Jawa Timur, yang berfungsi sebagai inputan tegangan (open delta) untuk rele proteksi (*Directional Ground Relay*).

#### 2.4.4 Jenis kubikel

a. *Open Type*

Kubikel jenis *open type* adalah Kubikel yang terpasang dengan kondisi rel terlihat atau tidak dalam kompartemen yang tertutup. Sehingga rel tersebut memerlukan pemeliharaan rutin, terutama pembersihan isolator tumpu / post insulator dari debu / kotoran. PMT Kubikel jenis ini biasanya tidak dapat di-*rack in* atau *rack out*, tetapi Kubikel jenis ini dilengkapi dengan PMS kabel + PMS tanah dan PMS Rel sebagai pengamanan ketika ada perbaikan atau pemeliharaan.

b. *Close Type*

Kubikel jenis *close type* adalah Kubikel yang terpasang dengan kondisi rel tertutup atau di dalam kompartemen. Hal ini dimaksudkan agar rel lebih aman dan bersih karena tidak bersentuhan langsung dengan debu udara sekitar. Kubikel ini juga dilengkapi dengan pemanas (*heater*) untuk mencegah kelembaban di dalam Kubikel. PMT Kubikel jenis ini didesain dapat di-*rack in* atau *rack out* sebagai pengamanan ketika ada perbaikan atau pemeliharaan.

#### 2.4.5 Komponen-komponen kubikel

Kubikel Tegangan Menengah terdiri dari komponen utama dan komponen pendukung. Komponen utamanya, antara lain yaitu:

1. PMT (Pemutus)

PMT terpasang pada kompartemen yang pada jenis tertentu terpasang “*Withdrawable Circuit Breaker*”. PMT dan mekanik penggerakannya dapat dengan mudah dikeluarkan / dimasukkan ke dalam Kubikel untuk keperluan pemeliharaan.

PMT adalah sakelar yang dapat digunakan untuk menghubungkan atau memutuskan arus / daya listrik sesuai ratingnya. Pada waktu memutuskan / menghubungkan arus / daya listrik akan terjadi busur api listrik. Pemadaman busur api listrik ini dapat dilakukan oleh beberapa macam bahan, yaitu: minyak, udara atau gas.

2. Rel

Rel dibuat dari tembaga atau aluminium dengan bentuk sesuai dengan desain dari masing-masing pabrik. Rel Tegangan Menengah pada Kubikel berfungsi sebagai penghubung antara kabel masuk dengan beberapa penyulang. Bentuk rel ini ada yang berpenampang bulat / pipa (tubuler), setengah bulat dan ada pula yang berbentuk plat sesuai dengan desain dari pabrik Kubikelnya. Besar kecilnya penampang rel tergantung pada besar / kecilnya daya yang akan disalurkan. Untuk merangkai Kubikel-Kubikel Tegangan Menengah dengan rel bulat / pipa, harus diperhatikan agar betul-betul rata (selevel). Hal itu untuk mencegah tingginya nilai tahanan kontak pada sambungan rel, yang dapat mengakibatkan gangguan / kerusakan.

### 3. Trafo Arus (CT)

Trafo arus berfungsi untuk menurunkan arus bolak-balik yang besar menjadi arus bolak-balik yang kecil sesuai dengan kebutuhan instrumentasi yang tersambung.

Nominal arus di sisi primer CT bermacam-macam, dapat dipilih sesuai dengan arus beban maksimum di sisi primer. Sedang arus nominal sisi sekunder adalah 1 Ampere atau 5 Ampere.

Jenis CT yang terpasang pada Kubikel Tegangan Menengah biasanya:

- Berbentuk cincin atau ring
- Berbentuk cor-coran / cast resin

Bagian-bagian utama trafo arus, yaitu:

- Kumparan primer
- Kumparan sekunder
- Inti besi
- Terminal primer dan terminal sekunder

### 4. Trafo Tegangan (PT)

Fungsi trafo tegangan adalah untuk menurunkan tegangan tinggi / menengah bolak-balik menjadi tegangan rendah sesuai dengan tegangan nominal instrument. Pemasangan trafo tegangan bisa pada Kubikel tersendiri atau pada Kubikel incoming, tergantung dari desain yang ada. Trafo tegangan pada Kubikel Tegangan Menengah umumnya berbentuk cor-coran / Cast resin.

Perbandingan transformasinya (rasio) adalah: 20.000 Volt / 100 Volt; 20.000/ $\sqrt{3}$  Volt / 100/ $\sqrt{3}$  Volt; 20.000 Volt / 110 Volt atau 20.000/ $\sqrt{3}$  Volt / 110/ $\sqrt{3}$  Volt.

Bagian-bagian utama PT adalah:

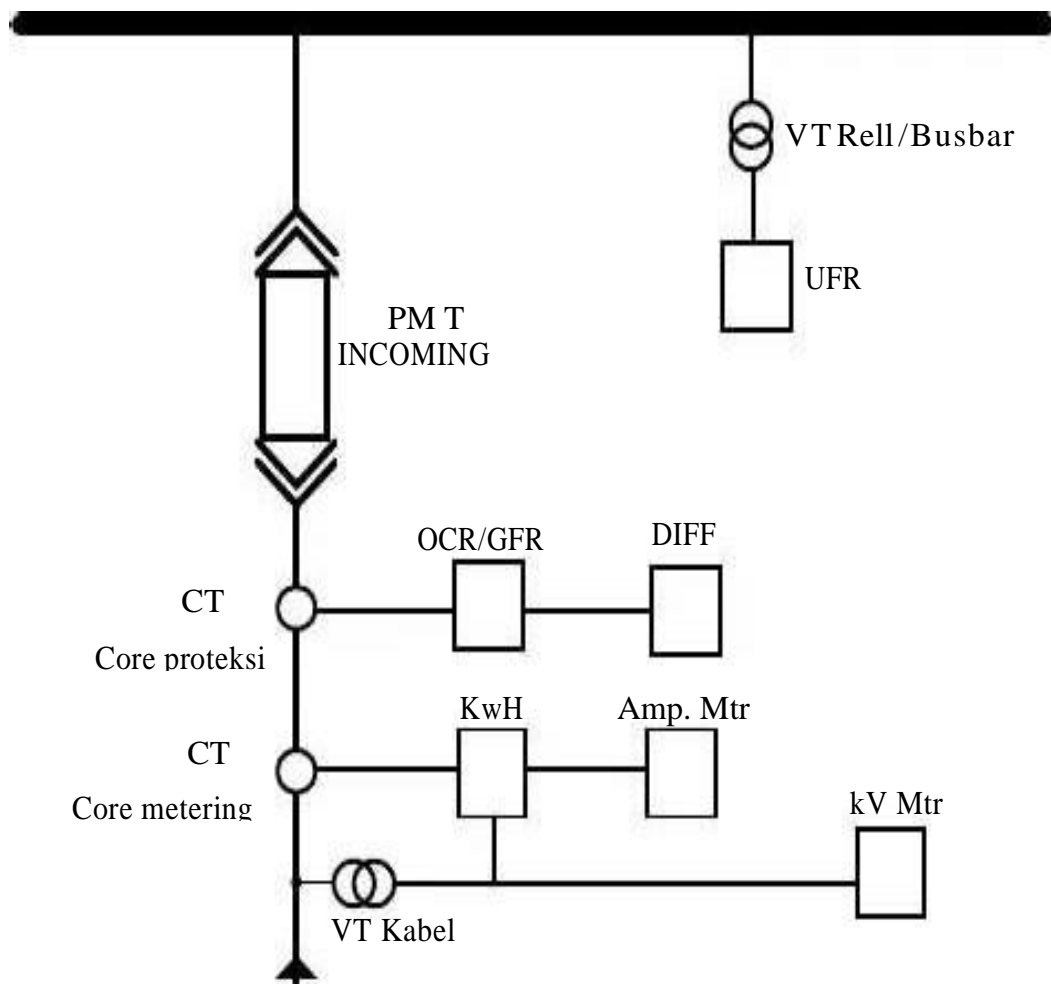
- a. Kumbaran primer
- b. Kumbaran sekunder
- c. Inti besi

Terminal primer dan terminal sekunder trafo tegangan dilengkapi dengan pelebur (*fuse*).

Adapun komponen pendukung pada kubikel yaitu:

1. Rele dan Meter

*Single line diagram rele*



Gambar 2.10 *Single line diagram rele*

2. Kontrol / Indikator
3. Pemanas (*Heater*)

#### 4. *Handle* Kubikel

##### 2.4.6 *Automatic Transfer Switch* (ATS)

ATS merupakan singkatan dari kata *Automatic Transfer Switch*, jika dipahami berdasarkan arti kata tersebut maka ATS adalah sakelar yang bekerja otomatis, namun kerja otomatisnya berdasarkan kemungkinan jika sumber listrik dari PLN terputus atau mengalami pemadaman maka sakelar akan berpindah kesumber listrik yang lainnya.

*Automatic Transfer Switch* merupakan rangkaian kontrol sakelar power inverter dengan PLN yang sudah *full automatic*. Alat ini berguna untuk menghidupkan dan menghubungkan *power inverter* ke beban secara otomatis pada saat PLN padam. Pada saat PLN hidup kembali, alat ini akan memindahkan sumber daya ke beban dari power inverter ke PLN.

Dalam perkembangan teknologi dunia elektrikal akhirnya merekayasa hal tersebut kemudian di jalankan secara *automatic* yang di singkat ATS (*Automatic Transfer Switch*) yang di fungsikan secara otomatis untuk memindahkan daya sesuai dengan kebutuhan tanpa menggunakan tenaga manusia untuk mengoperasikannya. Beberapa jenis ATS di bedakan menurut kapasitas daya yang di butuhkan atau berdasarkan Phasa dan Ampere yang melalui panel tersebut, namun untuk prinsip kerjanya sama.

## 2.5 Layanan Premium

Layanan premium adalah layanan terbuka dan bisa diakses oleh semua pelanggan baik bertegangan tinggi, menengah atau rendah (minimal daya 1.300VA). Layanan premium mengedepankan jaminan kualitas pasokan listrik kepada pelanggan (konsumen) serta tingkat keandalan yang lebih tinggi dibanding layanan reguler. Pelanggan layanan premium mendapat suplai tenaga listrik lebih dari satu sumber, sehingga tidak mengakibatkan pemadaman saat ada gangguan di jalur utama, karena akan dialihkan ke pasangan listrik cadangan dalam waktu kurang dari 2 detik demi kenyamanan konsumen.

Pada pelanggan layanan premium tidak dikenakan pengurangan beban dan diberikan diskon jika mengalami pemadaman. Suplai listrik ini juga dikenal dengan keandalan yang baik dan berkualitas. Harga per kWh tidak sama dengan harga per kWh reguler. Untuk menjadi pelanggan premium ini tidak ada syarat, tetapi pihak PLN akan melihat dari segi teknisnya. Khusus untuk pelanggan premium akan difokuskan ke pelanggan besar, bisnis, industri, dan pelanggan yang membutuhkan suplai listrik. Untuk tarif layanan premium PLN, ada empat tingkatan yakni Bronze, Silver, Gold, dan Platinum.

Adapun tahapan untuk menjadi pelanggan premium ini adalah sebagai berikut :

1. Surat permohonan dari pelanggan untuk menjadi pelanggan premium
2. Membayar biaya penyambungan (BP) dan Uang Jaminan Langgan (UJL) (Bila Pelanggan Baru)
3. Amandemen perjanjian jual beli tenaga listrik (bila pelanggan eksisting)
4. Penetapan pelanggan premium dari PLN WS2JB dan perbaikan pasokan untuk layanan premium
5. Menjadi pelanggan premium

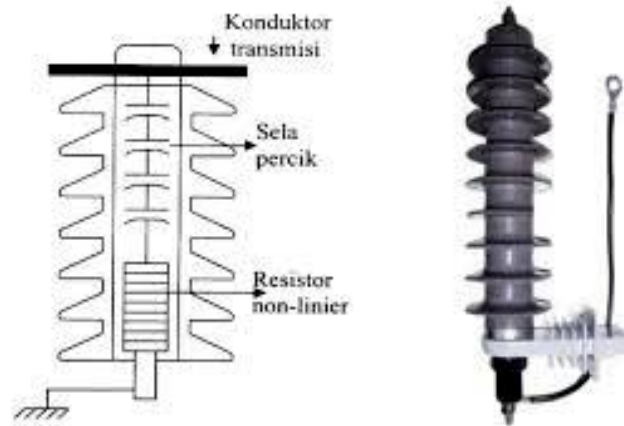
## 2.6 *Lightning Arrester (LA)*

Arrester atau biasa juga *lightning arrester* adalah suatu alat pelindung bagi peralatan sistem tenaga listrik terhadap surja petir (*surge*). Alat pelindung terhadap gangguan surja ini berfungsi melindungi peralatan sistem tenaga listrik dengan cara membatasi surja tegangan lebih yang datang dan mengalirkannya ke tanah. Sesuai dengan fungsi itu maka arrester harus dapat menahan tegangan sistem pada frekuensi 50 Hz untuk waktu yang terbatas dan harus dapat melewatkan surja arus ke tanah tanpa mengalami kerusakan pada arrester itu sendiri. Arrester berlaku sebagai

jalan pintas di sekitar isolasi. Arrester membentuk jalan yang mudah untuk dilalui oleh arus kilat atau petir, sehingga tidak timbul tegangan lebih yang nilainya tinggi pada peralatan. Selain melindungi peralatan dari tegangan lebih yang diakibatkan oleh tegangan lebih eksternal, arrester juga melindungi peralatan dari tegangan lebih yang diakibatkan oleh tegangan lebih internal seperti surja hubung. Selain itu arrester juga merupakan kunci dalam koordinasi isolasi suatu sistem tenaga listrik. Bila surja hubung datang ke gardu induk maka arrester akan bekerja melepaskan muatan listrik serta mengurangi tegangan abnormal yang mengenai peralatan dalam gardu induk.

*Lightning arrester* bekerja pada tegangan tertentu di atas tegangan operasi untuk membuang muatan listrik dari surja petir dan berhentiberoperasi pada tegangan tertentu di atas tegangan operasi agar tidak terjadi arus pada tegangan operasi dan perbandingan dua tegangan ini disebut rasio proteksi arrester tingkat isolasi bahan arrester harus berada dibawah tingkat isolasi bahan transformator agar apabila sampai terjadi *flashover*, maka *flashover* diharapkan terjadi pada arrester dan tidak pada transformator.

Pada umumnya prinsip kerja Arrester cukup sederhana yaitu membentuk jalan yang mudah dialalui oleh petir, sehingga tidak timbul tegangan lebih tinggi pada peralatan listrik lainnya. Pada kondisi kerja yang normal, arrester berlaku sebagai isolasi tetapi bila timbul surja akibat adanya petir maka arrester akan berlaku sebagai konduktor yang berfungsi melewatkan aliran arus yang tinggi ke tanah. Setelah tegangan surja itu hilang maka arrester harus dengan cepat kembali menjadi isolator sehingga PMT tidak sempat membuka. Pada kondisi yang normal ( tidak terkena petir) , arus bocor arrester tidak boleh melebihi 2 mA. Apabila melebihi angka tersebut, berarti kemungkinan besar arrester mengalami kerusakan.

Gambar 2.11 *Lightning Arrester*

## 2.7 Faktor Beban

Faktor beban merupakan perbandingan dari nilai kebutuhan rata-rata dengan nilai kebutuhan maksimum merupakan satuan desimal. Ditentukan dengan rumus sebagai berikut :

$$L_f = \frac{I_{rata-rata}}{I_{puncak}} \dots\dots\dots(2-1)$$

1)

## 2.8 Faktor Rugi-Rugi (*Loss Load Factor*)

Faktor rugi-rugi merupakan faktor kerugian dari suatu penyulang. Perbandingan jumlah susut energi total pada periode tertentu dengan nilai kerugian maksimum pada periode tersebut.

Menurut ahli Amerika, pada kota-kota besar nilai faktor rugi-rugi adalah sebagai berikut :

$$LL_f = 0,7L_f + 0,3(L_f)^2 \dots\dots\dots(2-2)$$

2)

## 2.9 Beban Puncak

Kepadatan beban selalu dipakai sebagai ukuran dalam memastikan keperluan listrik. Sesuatu daerah kepadatan beban satuannya dapat berupa MVA/km<sup>2</sup> maupun KVA/m<sup>2</sup> dan umumnya satuan yang dipakai adalah



MVA/km<sup>2</sup>. Beban puncak (kebutuhan maksimum) didefinisikan sebagai beban kebutuhan terbesar yang terjadi selama periode tertentu. Periode tertentu dapat berupa sehari, sebulan maupun setahun. Periode harian, yaitu variasi pembebanan trafo distribusi selama sehari. Selanjutnya beban puncak harus diartikan beban rata-rata selama selang waktu tertentu, dimana kemungkinan terjadinya beban tersebut.

Standar beban puncak adalah <8,90 MW. Adapun rumus perkiraan penambahan beban puncak setelah investasi adalah sebagai berikut :

$$\frac{\text{JumlahDaya} \times 0,8}{1.000.000} \dots\dots\dots(2-$$

3)

### 2.10 Penambahan Penyaluran Energi Listrik

Adapun untuk penambahan energi listrik yang disalurkan dapat menggunakan rumus :

$$\frac{\text{BebanPuncak} \times \text{FaktorBeban} \times 8760}{1000} \dots\dots\dots(2-$$

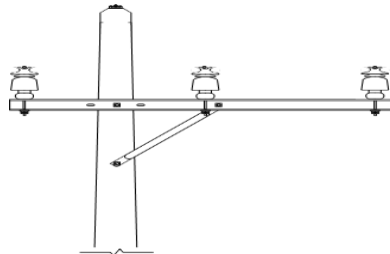
4)

### 2.11 Standarisasi Konstruksi Tiang TM

#### a. Konstruksi TM-1.

Konstruksi TM-1 merupakan tiang tumpu yang digunakan untuk rute jaringan lurus, dengan satu traves (cross-arm) dan menggunakan tiga buah isolator jenis pin insulator dan tidak memakai treck skoor (guy wire). Penggunaan kostruksi TM-1 ini hanya dapat dilakukan pada sudut 170°-180°.

Konstruksi TM-1 ini termasuk tiang penyangga yang merupakan tiang yang dipasang pada saluran listrik yang lurus dan hanya berfungsi sebagai penyangga kawat penghantar dimana gaya yang ditanggung oleh tiang adalah gaya karena beban kawat.

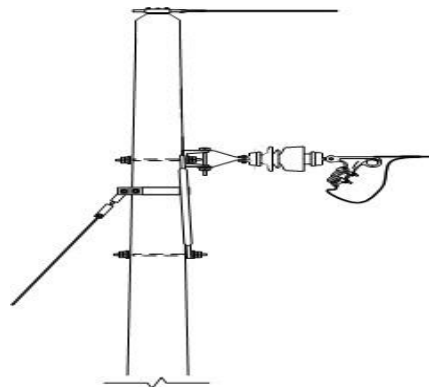


Gambar 2.12 Konstruksi Tiang Penyangga TM-1 SUTM<sup>8</sup>

Konstruksi TM-1D. Pada dasarnya konstruksi TM-1D sama dengan TM-1, bedanya TM-1D digunakan untuk saluran ganda (*double circuit*), dengan dua *traves* (*cross-arm*) dan enam buah isolator jenis pin insulator. Satu *traves* diletakkan pada puncak tiang, sedangkan *traves* yang lain diletakkan dibawahnya.

b. Konstruksi TM-3.

Konstruksi TM-3 terpasang pada konstruksi tiang lurus, mempunyai *double traves*. Isolator yang digunakan enam buah isolator jenis suspension insulator dan tiga buah isolator jenis pin insulator. Konstruksi TM-3 ini tidak memakai *treck schoor*.



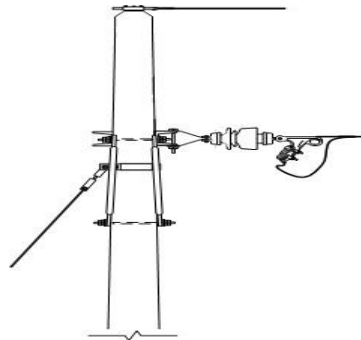
<sup>8</sup> PT. PLN (Persero). *Power Point Kriteria Desain Konstruksi*. slide 55

Gambar 2.13 Konstruksi Tiang Penegang TM-3 SUTM<sup>9</sup>

Konstruksi TM-3D. Konstruksi TM-3D sama dengan konstruksi TM-3, bedanya TM-3D digunakan untuk saluran ganda (*double circuit*), empat buah traves, 12 isolator jenis *suspension insulator*, dan 6 isolator jenis pin insulator.

c. Konstruksi TM-4.

Konstruksi TM-4. Konstruksi TM-4 digunakan pada konstruksi tiang TM akhir. Mempunyai *double traves*, dengan tiga buah isolator jenis *suspension insulator* dan memakai *treck schoor*.



Gambar 2.14 Konstruksi Tiang Akhir TM-4 SUTM<sup>10</sup>

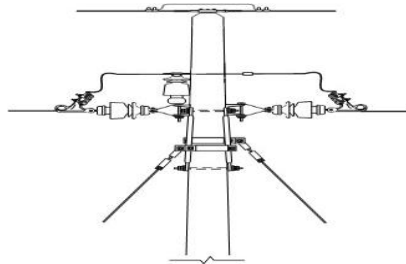
Konstruksi TM-4 ini termasuk tiang awal atau tiang akhir yang merupakan tiang yang dipasang pada permulaan atau pada akhir penerikan kawat penghantar, dimana gaya tarikan kawat pekerja terhadap tiang dari satu arah. Konstruksi TM-4D. Konstruksi TM-4D sama dengan konstruksi TM-4, bedanya TM-4D mempunyai *double circuit* dengan *double track schoor*.

<sup>9</sup> *Ibid*, slide 57

<sup>10</sup> *Ibid*, slide 62-64

d. Konstruksi TM-5.

Konstruksi TM-5. Terpasang pada konstruksi tiang TM lurus dengan belokan antara  $120^\circ - 180^\circ$ , menggunakan *double traves* dengan enam buah isolator jenis *suspension* dan tiga buah isolator jenis pin insulator, dan memakai *treck schoor*.

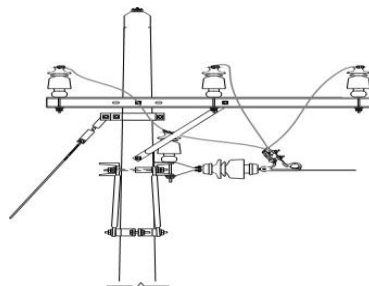


Gambar 2.15 Konstruksi Tiang Penegang TM-5 SUTM

Konstruksi TM-5D. Konstruksi TM-5D sama dengan TM-5, namun TM-5D digunakan untuk saluran ganda (*double cirkuit*) dengan *double treck schoor*.

e. Konstruksi TM-8.

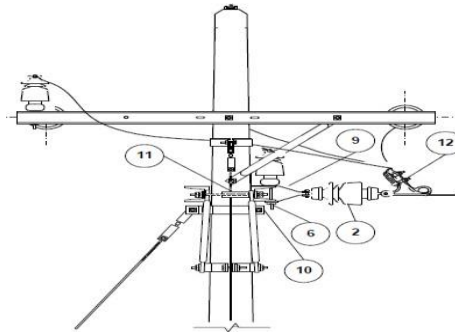
Konstruksi TM-8 ini terpasang pada konstruksi percabangan JTM sudut siku ( $90^\circ$ ). Masing-masing *double traves* disilang 4. TM induk memakai isolator tumpu dan TM percabangan memakai isolator *suspension*. Tipe isolator yang digunakan ada dua jenis. Memakai *treck schoor*. Konstruksi TM-8D sama dengan TM-8 hanya bedanya TM-8D mempunyai *double cirkuit*.



Gambar 2.16 Konstruksi Tiang Percabangan TM-8 SUTM<sup>11</sup>

## f. Konstruksi TM-10.

TM-10 terpasang pada konstruksi tiang tikungan siku (sudut 60° – 90°). Masing-masing double traves disilang 4. *Isolator type suspension*. Memakai *treck schoor* ganda.

Gambar 2.17 Konstruksi Tiang Tikungan TM-10 SUTM<sup>12</sup>

## 2.12 Perbandingan Biaya Genset dan Biaya Layanan Premium

### a. Biaya Bahan Bakar Genset

Adapun cara menghitung penggunaan bahan bakar genset per jam adalah sebagai berikut :

$$\text{Kebutuhan genset} = k \times P \times t \dots \dots \dots (2-$$

5)

Keterangan :

$k = 0,21$  (ketetapan konsumsi solar per kilowatt per jam)

$P = \text{daya}$

$t = \text{waktu}$

<sup>11</sup> *Ibid*, slide 66

<sup>12</sup> *Ibid*, slide 72



Setelah kebutuhan genset didapat, selanjutnya dikalikan dengan asumsi harga bahan bakar/liter yakni Rp. 11.800.

Jika diasumsikan dalam 1 tahun kegiatan Padam PLN yaitu sebagai berikut :

1. HAR Trafo GI, 1 tahun 1 x dengan durasi padam 8 jam
2. HAR Kubikel GI, 1 tahun 1 x dengan durasi padam 8 jam
3. Kegiatan ROW, 1 bulan 2 x dengan durasi padam 3 jam
4. Gangguan Eksternal Lainnya

Waktu padam = HAR Trafo + HAR Kubikel + ROW + Gangguan lainnya

Biaya Genset Per Tahun = Waktu Padam x Biaya Genset/Jam

b. Biaya Layanan Premium Per Tahun

Biaya Layanan Premium Per Tahun adalah :

12 Bulan x 110 Jam Nyala x Daya x Harga Rp kWh Premium.....(2-

6)